

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-353542

(43)Date of publication of application : 06.12.2002

(51)Int.Cl.

H01S 3/094

H01S 3/16

(21)Application number : 2001-157139

(71)Applicant : FUJI PHOTO FILM CO LTD

(22)Date of filing : 25.05.2001

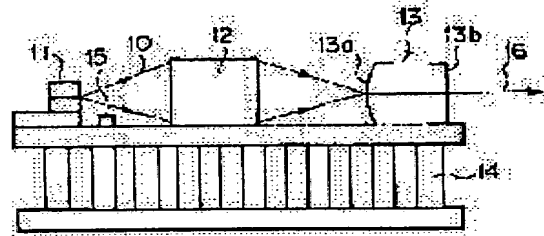
(72)Inventor : OTSUKA TAKASHI
OKAZAKI YOJI
KATO TAKAYUKI

(54) LASER DIODE-PUMPED SOLID-STATE LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize more number of oscillation wavelengths in a laser diode-pumped solid-state laser which generates a laser beam, in such a way that a solid-state laser crystal doped with rare-earth element ions is pumped by a laser diode.

SOLUTION: The solid-state laser crystal 13, doped with Ho^{3+} , is excited by a GaN-based laser diode 11, and a solid-state laser beam 16 is generated by the transition: $5S_2$ to $5I_7$ or $5S_2$ to $5I_8$ in the crystal 13.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

26.12.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-353542

(P2002-353542A)

(43) 公開日 平成14年12月6日 (2002. 12. 6)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード* (参考)

H 0 1 S 3/094
3/16

H 0 1 S 3/16
3/094

5 F 0 7 2
S

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-157139(P2001-157139)

(22) 出願日 平成13年5月25日 (2001. 5. 25)

(71) 出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社
神奈川県南足柄市中沼210番地

(72) 発明者 大塚 尚

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富
士写真フイルム株式会社内

(72) 発明者 岡崎 洋二

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富
士写真フイルム株式会社内

(74) 代理人 100073184

弁理士 柳田 征史 (外1名)

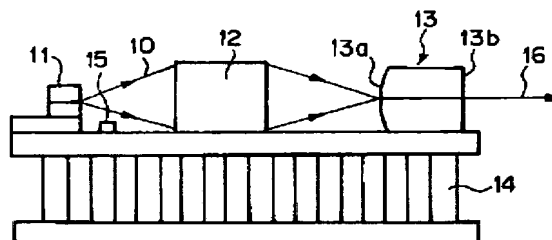
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザーダイオード励起固体レーザー

(57) 【要約】

【課題】 希土類元素イオンが添加された固体レーザー結晶を、レーザーダイオードによって励起してレーザービームを発生させるレーザーダイオード励起固体レーザーにおいて、より多くの発振波長を実現する。

【解決手段】 Ho^{3+} が添加された固体レーザー結晶13をGa N系レーザーダイオード11によって励起し、該固体レーザー結晶13における $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$ 、あるいは $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$ の遷移によって固体レーザービーム16を発生させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 Ho^{3+} が添加された固体レーザー結晶をGa N系レーザーダイオードによって励起し、該固体レーザー結晶における $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$ 、あるいは $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とするレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項2】 前記 $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$ の遷移によって波長が740～760nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項1記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項3】 前記 $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$ の遷移によって波長が540～560nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項1記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項4】 前記固体レーザー結晶が、希土類元素イオンとして Ho^{3+} のみが添加されたものであることを特徴とする請求項1から3いずれか1項記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項5】 Sm^{3+} が添加された固体レーザー結晶をGa N系レーザーダイオードによって励起し、該固体レーザー結晶における $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{5/2}$ 、あるいは $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{7/2}$ 、あるいは $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とするレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項6】 前記 $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{5/2}$ の遷移によって波長が556～576nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項5記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項7】 前記 $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{7/2}$ の遷移によって波長が605～625nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項5記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項8】 前記 $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移によって波長が640～660nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項5記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項9】 前記固体レーザー結晶が、希土類元素イオンとして Sm^{3+} のみが添加されたものであることを特徴とする請求項5から8いずれか1項記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項10】 Eu^{3+} が添加された固体レーザー結晶をGa N系レーザーダイオードによって励起し、該固体レーザー結晶における $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とするレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項11】 前記 $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ の遷移によって波長が579～599nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項10記載の

レーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項12】 前記固体レーザー結晶が、希土類元素イオンとして Eu^{3+} のみが添加されたものであることを特徴とする請求項10または11記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項13】 Dy^{3+} が添加された固体レーザー結晶をGa N系レーザーダイオードによって励起し、該固体レーザー結晶における $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{13/2}$ 、あるいは $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とするレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項14】 前記 $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{13/2}$ の遷移によって波長が562～582nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項13記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項15】 前記 $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移によって波長が654～674nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項13記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項16】 前記固体レーザー結晶が、希土類元素イオンとして Dy^{3+} のみが添加されたものであることを特徴とする請求項13から15いずれか1項記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項17】 Er^{3+} が添加された固体レーザー結晶をGa N系レーザーダイオードによって励起し、該固体レーザー結晶における $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ 、あるいは $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とするレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項18】 前記 $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ の遷移によって波長が530～550nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項17記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項19】 前記 $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$ の遷移によって波長が544～564nmのレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とする請求項17記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項20】 前記固体レーザー結晶が、希土類元素イオンとして Er^{3+} のみが添加されたものであることを特徴とする請求項17から19いずれか1項記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項21】 Tb^{3+} が添加された固体レーザー結晶をGa N系レーザーダイオードによって励起し、該固体レーザー結晶における $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有することを特徴とするレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項22】 前記 $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ の遷移によって波長が530～550nmのレーザービームを発生させ

る構成を有することを特徴とする請求項2記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項23】 前記固体レーザー結晶が、希土類元素イオンとして Tb^{3+} のみが添加されたものであることを特徴とする請求項21または22記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【請求項24】 前記GaN系レーザーダイオードが、InGaN、InGaNAsあるいはGaNAsからなる活性層を有するものであることを特徴とする請求項1から23いずれか1項記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、希土類元素イオンが添加された固体レーザー結晶を、レーザーダイオード（半導体レーザー）によって励起してレーザービームを発生させるレーザーダイオード励起固体レーザーに関するものである。

【0002】

【従来の技術】例えばJournal of Applied Physics, Vol. 48, No. 2, pp. 650~653 (1977)や、Applied Physics B58, pp. 149~151 (1994)に記載されているように、 Pr^{3+} が添加された固体レーザー結晶をArレーザー等のガスレーザーによって励起するガスレーザー励起固体レーザーが知られている。

【0003】この種のガスレーザー励起固体レーザーにおいては、 $^3P_0 \rightarrow ^3H_4$ の遷移によって波長470~490 nmの青色領域のレーザービームを発生させたり、また、 $^3P_1 \rightarrow ^3H_5$ の遷移によって波長520~550 nmの緑色領域のレーザービームを発生させることも可能である。そこでこのようなガスレーザー励起固体レーザーは、カラー感光材料にカラー画像を書き込むための光源として利用することもできる。

【0004】また、上記の青色領域や緑色領域のレーザービームを発する固体レーザーとして、例えば特開平4-318988号に示されるように、共振器内に非線形光学結晶を配して固体レーザービームを第2高調波等に波長変換（短波長化）するレーザーダイオード励起固体レーザーも知られている。

【0005】さらに近時は、青色領域やあるいは緑色領域のレーザービームを発振するInGaN系レーザーダイオードや、ZnMgSSe系レーザーダイオードも開発されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、このように青色領域やあるいは緑色領域のレーザービームを発するレーザーは、上記カラー画像記録装置の書込み光源等として用いる場合は、小型、低コスト、軽量であることが望まれる。前述の Pr^{3+} が添加された固体レーザー結晶を用いるガスレーザー励起固体レーザーは、励起光源

としてのガスレーザーがかなり大型、高価で、かつ重いので、このような用途には向いていないと言える。

【0007】一方、非線形光学結晶によって固体レーザービームを短波長化するようにしたレーザーダイオード励起固体レーザーにあっては、現状では波長変換効率が十分に高くないので、高出力を得ることが難しいという問題がある。またこのレーザーダイオード励起固体レーザーにおいては、発振モードを単一縦モード化するエタロン等が挿入されるために共振器ロスが大きくなり、この点からも高出力化が困難となっている。

【0008】さらにこの種のレーザーダイオード励起固体レーザーにおいては、波長変換の位相整合を取るために、高精度の温度制御を行なう必要があり、そのために出力安定性に欠けるという問題も認められる。またこのレーザーダイオード励起固体レーザーは、非線形光学結晶やエタロンが設けられるため部品点数が多く、コストが高くつくものとなっていた。

【0009】またInGaN系レーザーダイオードでは、Inの含有量を増やすのに従って発振波長が長波長化するので、波長470~490 nmの青色領域のレーザービームや波長520~550 nmの緑色領域のレーザービームを発振させることも理論上は可能である。しかし、Inの含有量を増やすにつれて結晶性が悪化するという事情があるため、実用上はInの含有量をさほど多くすることはできず、450 nm程度が長波長化の限界となっている。

【0010】また、他に青色光が得られるレーザーダイオードとして、InGaNAsあるいはGaNAsからなる活性層を有するレーザーダイオードがある。これらにおいては、Asをドーピングすることによって長波長化が可能となるが、Asの含有量を増やすにつれて、やはり結晶性が悪化するという問題があり、高出力化できる波長としては450~460 nm程度となってしまふ。

【0011】さらにZnMgSSe系レーザーダイオードには、500 nm以上の長波長でないと連続室温発振できない、寿命が現状では100時間程度しかない、という問題がある。

【0012】上記の事情に鑑みて本出願人は、特願平10-6369号（特開平11-17266号参照）において、効率良く高出力の青色領域や緑色領域のレーザービームを発生可能で、また低コストでかつ出力安定性も高いレーザーダイオード励起固体レーザーを提案した。このレーザーダイオード励起固体レーザーは、前述の Pr^{3+} が添加された固体レーザー結晶を、GaN系レーザーダイオードによって励起する構成を有するものである。

【0013】本発明は、この特願平10-6369号で提案したレーザーダイオード励起固体レーザーのようにGaN系レーザーダイオードを励起源として、さらに別の多くの波長で発振し得るレーザーダイオード励起固体

レーザーを提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明による一つのレーザーダイオード励起固体レーザーは、 Ho^{3+} が添加された固体レーザー結晶をGa N系レーザーダイオードによって励起し、該固体レーザー結晶における $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$ 、あるいは $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有するものである。このレーザーダイオード励起固体レーザーは、より具体的には、 $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$ の遷移によって波長が740~760nmのレーザービームを発生させたり、あるいは $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$ の遷移によって波長が540~560nmのレーザービームを発生させる構成をとることができる。

【0015】なお、上記 Ho^{3+} が添加された固体レーザー結晶の励起波長は420nmとされる。そしてこの固体レーザー結晶としては、希土類元素イオンとして Ho^{3+} のみが添加されたものを好適に用いることができる。

【0016】また、本発明による別のレーザーダイオード励起固体レーザーは、 Sm^{3+} が添加された固体レーザー結晶をGa N系レーザーダイオードによって励起し、該固体レーザー結晶における $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{5/2}$ 、 $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{7/2}$ 、あるいは $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有するものである。このレーザーダイオード励起固体レーザーは、より具体的には、 $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{5/2}$ の遷移によって波長が556~576nmのレーザービームを発生させたり、あるいは $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{7/2}$ の遷移によって波長が605~625nmのレーザービームを発生させたり、さらには $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移によって波長が640~660nmのレーザービームを発生させる構成をとることができる。

【0017】なお、上記 Sm^{3+} が添加された固体レーザー結晶の励起波長は404nmとされる。そしてこの固体レーザー結晶としては、希土類元素イオンとして Sm^{3+} のみが添加されたものを好適に用いることができる。

【0018】また本発明によるさらに別のレーザーダイオード励起固体レーザーは、 Eu^{3+} が添加された固体レーザー結晶をGa N系レーザーダイオードによって励起し、該固体レーザー結晶における $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有するものである。このレーザーダイオード励起固体レーザーは、より具体的には、 $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ の遷移によって波長が579~599nmのレーザービームを発生させる構成をとることができる。

【0019】なお、上記 Eu^{3+} が添加された固体レーザー結晶の励起波長は394nmとされる。そしてこの固

体レーザー結晶としては、希土類元素イオンとして Eu^{3+} のみが添加されたものを好適に用いることができる。

【0020】また本発明によるさらに別のレーザーダイオード励起固体レーザーは、 Dy^{3+} が添加された固体レーザー結晶をGa N系レーザーダイオードによって励起し、該固体レーザー結晶における $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{13/2}$ あるいは $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有するものである。このレーザーダイオード励起固体レーザーは、より具体的には、 $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{13/2}$ の遷移によって波長が562~582nmのレーザービームを発生させたり、あるいは $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移によって波長が654~674nmのレーザービームを発生させる構成をとることができる。

【0021】なお、上記 Dy^{3+} が添加された固体レーザー結晶の励起波長は390nmとされる。そしてこの固体レーザー結晶としては、希土類元素イオンとして Dy^{3+} のみが添加されたものを好適に用いることができる。

【0022】また本発明によるさらに別のレーザーダイオード励起固体レーザーは、 Er^{3+} が添加された固体レーザー結晶をGa N系レーザーダイオードによって励起し、該固体レーザー結晶における $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ あるいは $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有するものである。このレーザーダイオード励起固体レーザーは、より具体的には、 $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ の遷移によって波長が530~550nmのレーザービームを発生させたり、 $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$ の遷移によって波長が544~564nmのレーザービームを発生させる構成をとることができる。

【0023】なお、上記 Er^{3+} が添加された固体レーザー結晶の励起波長は406nmあるいは380nmとされる。そしてこの固体レーザー結晶としては、希土類元素イオンとして Er^{3+} のみが添加されたものを好適に用いることができる。

【0024】また本発明によるさらに別のレーザーダイオード励起固体レーザーは、 Tb^{3+} が添加された固体レーザー結晶をGa N系レーザーダイオードによって励起し、該固体レーザー結晶における $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ の遷移によってレーザービームを発生させる構成を有するものである。このレーザーダイオード励起固体レーザーは、より具体的には、 $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ の遷移によって波長が530~550nmのレーザービームを発生させる構成をとることができる。

【0025】なお、上記 Tb^{3+} が添加された固体レーザー結晶の励起波長は380nmとされる。そしてこの固体レーザー結晶としては、希土類元素イオンとして Tb

³⁺のみが添加されたものを好適に用いることができる。

【0026】一方、上記構成の各レーザーダイオード励起固体レーザーにおいて、励起光源としてのGaN系レーザーダイオードは、より具体的には、例えばInGaN、InGaNAsあるいはGaNAsからなる活性層を有するものを使用することができる。

【0027】

【発明の効果】 Ho^{3+} 、 Sm^{3+} 、 Eu^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Er^{3+} および Tb^{3+} は波長380~420nmに吸収帯があり、GaN系レーザーダイオードによって励起され得る。波長380~430nmはGaN系レーザーダイオードが比較的発振しやすい波長帯であり、そして特に波長400~410nmは、現在提供されているGaN系レーザーダイオードの最大出力が得られる波長帯であるので、これらの Ho^{3+} 、 Sm^{3+} 、 Eu^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Er^{3+} および Tb^{3+} をGaN系レーザーダイオードによって固体レーザー結晶を励起すれば、励起光の吸収量を大きく確保可能で、それにより、高効率化および高出力化が達成される。

【0028】そして、先に例を挙げた通り、これらの Ho^{3+} 、 Sm^{3+} 、 Eu^{3+} 、 Dy^{3+} 、 Er^{3+} および Tb^{3+} による蛍光の波長帯は広い範囲に亘るので、従来に無い波長で発振するレーザーダイオード励起固体レーザーを得ることが可能となる。

【0029】一方、GaN系レーザーダイオードは熱伝導係数が130 W/m℃と、ZnMgSSe系レーザーダイオードの4 W/m℃等と比べて極めて大きい。またそれに加えて、転移の移動度もZnMgSSe系レーザーダイオードと比べて非常に小さいことから、COD（カタストロフィック・オブティカル・ダメージ）が非常に高く、高寿命、高出力が得やすいものである。このように高寿命、高出力が得やすいGaN系レーザーダイオードを励起光源として用いたことにより、本発明のレーザーダイオード励起固体レーザーは、高寿命で、高出力のレーザービームを発生可能となる。

【0030】なお励起光源であるGaN系レーザーダイオードとしては、単一縦、横モード型のものを使用することは勿論、その他ブロードエリア型、フェーズドアレー型、あるいはMOPA型の高出力タイプのものを1個または複数個使用することもできる。そのようにすることにより本発明のレーザーダイオード励起固体レーザーは、さらなる高出力、例えばW（ワット）クラスの高出力を得ることも可能である。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0032】＜第1の実施の形態＞図1は、本発明の第1の実施の形態によるレーザーダイオード励起固体レーザーを示すものである。このレーザーダイオード励起固

体レーザーは、励起光としてのレーザービーム10を発するレーザーダイオード11と、発散光であるレーザービーム10を集光する集光レンズ12と、 Ho^{3+} が例えば1at%ドープされた固体レーザー結晶であるY₃Al₅O₁₂結晶（以下、 $\text{Ho}:\text{YAG}$ 結晶と称する）13とを有している。

【0033】以上の各要素11~13はペルチェ素子14の上に固定されている。またこのペルチェ素子14上には温度検出用のサーミスタ15が固定され、このサーミスタ15の出力は図示しない温度調節回路に入力されるようになっている。そしてこの温度調節回路により、サーミスタ15の出力に基づいてペルチェ素子14が駆動され、レーザーダイオード11、集光レンズ12および $\text{Ho}:\text{YAG}$ 結晶からなる固体レーザー結晶13が所定温度に保たれる。

【0034】レーザーダイオード11としては、発振波長420nmのブロードエリア型のGaN系レーザーダイオードが用いられている。また固体レーザー結晶13における $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$ の遷移を利用して波長550nmのレーザービームを発生させるために、固体レーザー結晶13の光入射端面である後方端面13aには、波長550nmに対してHR（高反射）で、 $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$ の遷移による波長750nmの他の蛍光等、並びに波長420nmのレーザービーム10に対してAR（無反射）となるコーティングが施され、一方この結晶13の光出射端面である前方端面13bには、波長550nmの光を1%だけ透過させて残余は反射させるコーティングが施されている。

【0035】GaN系レーザーダイオード11から発せられた波長420nmのレーザービーム10は、固体レーザー結晶13の後方端面13aから該結晶13内に入射する。 $\text{Ho}:\text{YAG}$ 結晶からなる固体レーザー結晶13は入射したこのレーザービーム10によって Ho^{3+} が励起され、 $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_8$ の遷移によって波長550nmの蛍光を発する。この光は上記の通りのコーティングが施されている結晶端面13a、13bの間で共振し、レーザー発振を引き起こす。こうして発生した波長550nmの緑色のレーザービーム16は、固体レーザー結晶13の前方端面13bから出射する。

【0036】本実施の形態においては、出力300mWのGaN系レーザーダイオード11を用いて、出力100mWの固体レーザービーム16を得ることができた。

【0037】なお、 Ho^{3+} がドープされた固体レーザー結晶13を用いる場合は、前述の $^5\text{S}_2 \rightarrow ^5\text{I}_7$ の遷移によって波長750nmの蛍光も発生し得るので、固体レーザー結晶13の両端面13a、13bに施すコートの設定次第で、波長750nmのレーザービームを発振させることも可能である。

【0038】＜第2の実施の形態＞この第2の実施の形態によるレーザーダイオード励起固体レーザーは、図1に示したレーザーダイオード励起固体レーザーと基本的

に同様の構成を有するものである。以下この図1中の番号を流用して説明する（後述する第3～6の実施の形態も同様）。

【0039】このレーザーダイオード励起固体レーザーは図1に示したレーザーダイオード励起固体レーザーと比べると、固体レーザー結晶13にドーピングされている希土類元素イオン、および固体レーザー結晶13の両端面13a、13bに施されたコートが異なるものである。

【0040】すなわち本実施の形態において、固体レーザー結晶13には Sm^{3+} が1at%ドーピングされている。また固体レーザー結晶13における $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{5/2}$ の遷移を利用して波長566nmのレーザービームを発生させるために、固体レーザー結晶13の後方端面13aには、波長566nmに対してHR（高反射）で、他の $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{7/2}$ の遷移による波長615nmの蛍光および $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移による波長650nmの蛍光等、並びに励起波長404nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施され、固体レーザー結晶13の前方端面13bには、波長566nmの光を1%だけ透過させるコートが施されている。そしてここではレーザーダイオード11として、発振波長404nmのものが用いられている。

【0041】この構成においては、出力200mWのGaN系レーザーダイオード11を用いて、出力40mWの波長566nmの固体レーザービーム16を得ることができた。

【0042】なお、 Sm^{3+} がドーピングされた固体レーザー結晶13を用いる場合は、前述の $^4\text{G}_{5/2} \rightarrow ^6\text{H}_{7/2}$ の遷移による波長615nmの蛍光や、 $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移による波長650nmの蛍光も発生し得るので、固体レーザー結晶13の両端面13a、13bに施すコートの設定次第で、波長615nmのレーザービームや波長650nmの固体レーザービームを発振させることも可能である。例えば波長615nmの固体レーザービームを発振させる場合は、出力200mWのGaN系レーザーダイオード11を用いて、出力50mWの固体レーザービーム16を得ることもできる。

【0043】＜第3の実施の形態＞この第3の実施の形態によるレーザーダイオード励起固体レーザーも、図1に示したレーザーダイオード励起固体レーザーと比べると、固体レーザー結晶13にドーピングされている希土類元素イオン、および固体レーザー結晶13の両端面13a、13bに施されたコートが異なるものである。

【0044】すなわち本実施の形態において、固体レーザー結晶13には Eu^{3+} が1at%ドーピングされている。また、固体レーザー結晶13における $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ の遷移によって波長589nmのレーザービームを発生させるために、固体レーザー結晶13の後方端面13aには、波長589nmに対してHR（高反射）で、他の遷移による蛍光、並びに励起波長394nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施され、固体レーザー結晶

13の前方端面13bには、波長589nmの光を1%だけ透過させるコートが施されている。そしてここではレーザーダイオード11として、発振波長394nmのものが用いられている。

【0045】この構成においては、出力100mWのGaN系レーザーダイオード11を用いて、出力20mWの波長589nmの固体レーザービーム16を得ることができた。

【0046】＜第4の実施の形態＞この第4の実施の形態によるレーザーダイオード励起固体レーザーも、図1に示したレーザーダイオード励起固体レーザーと比べると、固体レーザー結晶13にドーピングされている希土類元素イオン、および固体レーザー結晶13の両端面13a、13bに施されたコートが異なるものである。

【0047】すなわち本実施の形態において、固体レーザー結晶13には Dy^{3+} が1at%ドーピングされている。また、固体レーザー結晶13における $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{13/2}$ の遷移を利用して波長572nmのレーザービームを発生させるために、固体レーザー結晶13の後方端面13aには、波長572nmに対してHR（高反射）で、他の $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移による波長664nmの蛍光等、並びに励起波長390nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施され、固体レーザー結晶13の前方端面13bには、波長572nmの光を1%だけ透過させるコートが施されている。そしてここではレーザーダイオード11として、発振波長390nmのものが用いられている。

【0048】この構成においては、出力100mWのGaN系レーザーダイオード11を用いて、出力10mWの波長572nmの固体レーザービーム16を得ることができた。

【0049】なお、 Dy^{3+} がドーピングされた固体レーザー結晶13を用いる場合は、前述の $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^6\text{H}_{11/2}$ の遷移による波長664nmの蛍光も発生し得るので、固体レーザー結晶13の両端面13a、13bに施すコートの設定次第で、波長664nmの固体レーザービームを発振させることも可能である。その場合も、出力100mWのGaN系レーザーダイオード11を用いて、出力10mWの固体レーザービーム16を得ることができる。

【0050】＜第5の実施の形態＞この第5の実施の形態によるレーザーダイオード励起固体レーザーも、図1に示したレーザーダイオード励起固体レーザーと比べると、固体レーザー結晶13にドーピングされている希土類元素イオン、および固体レーザー結晶13の両端面13a、13bに施されたコートが異なるものである。

【0051】すなわち本実施の形態において、固体レーザー結晶13には Er^{3+} が1at%ドーピングされている。また、固体レーザー結晶13における $^2\text{H}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{13/2}$ の遷移を利用して波長554nmのレーザービームを発生させるために、固体レーザー結晶13の後方端面13aには、波長554nmに対してHR（高反射）で、他の $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ の遷移

による波長540nmの蛍光等、並びに励起波長406nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施され、固体レーザー結晶13の前方端面13bには、波長554nmの光を1%だけ透過させるコートが施されている。そしてここではレーザーダイオード11として、発振波長406nmのものが用いられている。

【0052】この構成においては、出力200mWのGaN系レーザーダイオード11を用いて、出力30mWの波長554nmの固体レーザービーム16を得ることができた。

【0053】なお、 Er^{3+} がドープされた固体レーザー結晶13を用いる場合は、前述の $^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ の遷移による波長540nmの蛍光も発生し得るので、固体レーザー結晶13の両端面13a、13bに施すコートの設定次第で、波長540nmの固体レーザービームを発振させることも可能である。

【0054】また、この Er^{3+} がドープされた固体レーザー結晶13を用いる場合、その励起波長は上述の406nmの他に、380nmとすることもできる。

【0055】＜第6の実施の形態＞この第6の実施の形態によるレーザーダイオード励起固体レーザーも、図1に示したレーザーダイオード励起固体レーザーと比べると、固体レーザー結晶13にドープされている希土類元素イオン、および固体レーザー結晶13の両端面13a、13bに施されたコートが異なるものである。

【0056】すなわち本実施の形態において、固体レーザー結晶13には Tb^{3+} が1at%ドープされている。また、固体レーザー結晶13における $^5D_4 \rightarrow ^7F_5$ の遷移によって波長540nmのレーザービームを発振させるために、固体レーザー結晶13の後方端面13aには、波長540nmに対してHR（高反射）で、他の遷移による蛍光、並びに励起波長380nmに対してAR（無反射）となる特性のコートが施され、固体レーザー結晶13の前方端面13bには、波長540nmの光を1%だけ透過させるコートが施されている。そしてここではレーザーダイオード11として、発振波長380nmのものが用い

* られている。

【0057】この構成においては、出力100mWのGaN系レーザーダイオード11を用いて、出力10mWの波長540nmの固体レーザービーム16を得ることができた。

【0058】なお、レーザー母材結晶としては、上の実施形態で説明した $Y_3Al_5O_{12}$ （YAG）に限らず、 $LiYF_4$ （YLF）、 YVO_4 、 $GdVO_4$ 、 BaY_2F_8 、 $Ba(Y, Yb)_2F_8$ 、 LaF_3 、 $Ca(NbO_3)_2$ 、 $CaWO_4$ 、 $SrMoO_4$ 、 $YAlO_3$ （YAP）、 Y_2SiO_5 、 YPO_4 、 $LaPO_4$ 、 $LuAlO_3$ 、 $LaCl_3$ 、 $LaBr_3$ 、 $PrBr_3$ 等を用いることもできる。

【0059】また、励起光源であるGaN系レーザーダイオードとしては、InGaN系材料から活性層を構成したもの、InGaAs系材料から活性層を構成したもの、そしてGaAs系材料から活性層を構成したものから適宜選択して用いることが可能である。特に、固体レーザー結晶の吸収帯が長波長側にずれている場合は、InGaN系レーザーダイオードと比べてより長波長化が実現しやすいInGaAs系あるいはGaAs系レーザーダイオードを用いるのが望ましく、それにより吸収効率を向上させることができる。

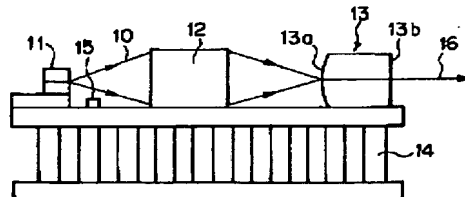
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態によるレーザーダイオード励起固体レーザーを示す概略側面図

【符号の説明】

- 10 レーザービーム（励起光）
- 11 InGaN系レーザーダイオード
- 12 集光レンズ
- 13 固体レーザー結晶
- 13a 固体レーザー結晶の後方端面
- 13b 固体レーザー結晶の前方端面
- 14 ペルチェ素子
- 15 サーミスタ
- 16 固体レーザービーム

【図1】



フロントページの続き

(72)発明者 加藤 隆之
神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富
士写真フイルム株式会社内

Fターム(参考) 5F072 AB01 AB20 JJ20 PP07 TT22